

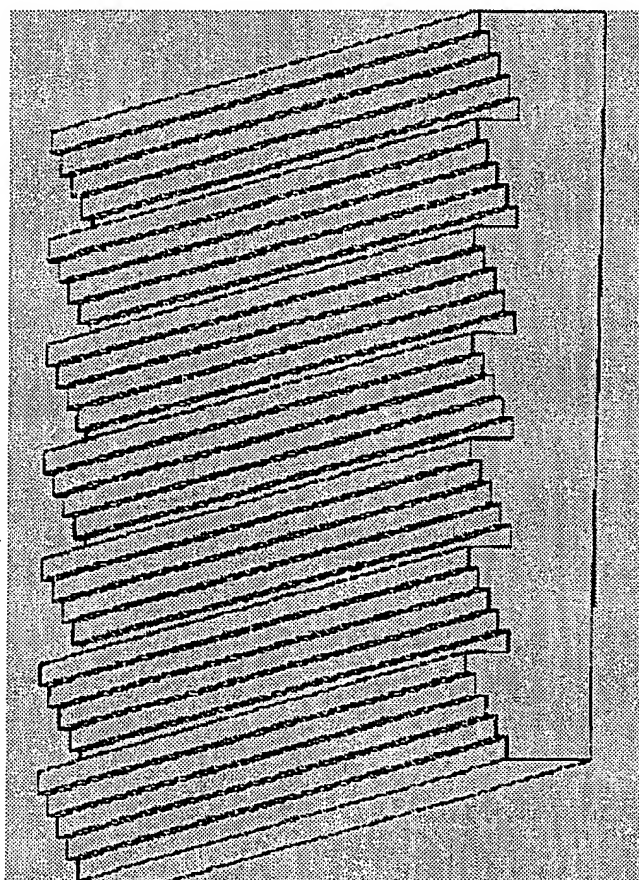
COLOR SEPARATING PHASE GRATING, IMAGE DISPLAY DEVICE USING THE SAME, LENS, AND OPTICAL INFORMATION RECORDING AND REPRODUCING DEVICE

Patent number: JP11023819
Publication date: 1999-01-29
Inventor: YAMAGATA MICHIIHIRO; TANAKA YASUHIRO;
SASANO TOMOHIKO
Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Classification:
- international: G02B5/18; G02B13/18; G02B27/18; G11B7/135
- european:
Application number: JP19970181437 19970707
Priority number(s): JP19970181437 19970707

[Report a data error here](#)

Abstract of JP11023819

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide proper design values for the color separating phase grating which has a staircase-shaped cross section and to provide the projection type image display device using it, the lens, and the optical information recording and reproducing device. **SOLUTION:** On the surface of a material which transmits light of three wavelengths λ_1 , λ_2 , and λ_3 , staircase shapes consisting of (m) stages are provided periodically and the level difference (d) of the steps and the height (t) of all the stapes satisfy $0.95 < d(n_1 - 1)/\lambda_1 < 1.05$, $0.9 < (m+1)t(n_2 - 1)/\lambda_2 < 1.1$, $0.9 < (m+1)t(n_3 - 1)/\lambda_3 < 1.1$, and $\lambda_2 > \lambda_1 < \lambda_3$, where n_1 , n_2 and n_3 are the refractive indexes of the material to the wavelengths λ_1 , λ_2 , and λ_3 .



(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18

G 0 2 B 5/18

13/18

13/18

27/18

27/18

Z

G 1 1 B 7/135

G 1 1 B 7/135

Z

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平9-181437

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月7日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 山形 道弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 田中 康弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 笹埜 智彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 池内 寛幸 (外1名)

(54) 【発明の名称】 色分離位相格子及びこれを用いた画像表示装置、レンズ、光情報記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 階段状の断面を有する色分離位相格子の好適な設計値を提供すると共に、これを用いた投写型の画像表示装置、レンズ、光情報記録再生装置を提供する。

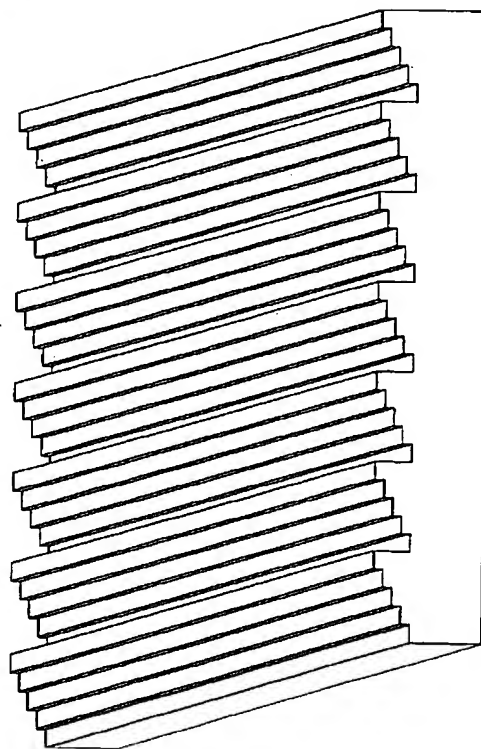
【解決手段】 3つの波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光を透過する材料の表面に、m段の階段状断面形状が周期的に設けられ、波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 に対する材料の屈折率を n_1 、 n_2 及び n_3 としたとき、階段の段差d及び全段数分の高さtが下記の式を満足する。

$$0.95 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.05$$

$$0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.1$$

$$0.9 < (m+1)t(n_3 - 1) / \lambda_3 m - (m-1) < 1.1$$

$$\lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3$$



【特許請求の範囲】

【請求項1】 3つの波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光を透過する材料の表面に、3段以上の階段状の断面形状が周期的に設けられた色分離位相格子であって、前記波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 に対する前記材料の屈折率を n_1 、 n_2 及び n_3 とし、前記階段の段数を m としたとき、前記階段の段差 d 及び全段数分の高さ t が下記の式を満足することを特徴とする色分離位相格子。

$$0.95 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.05$$

$$0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.1$$

$$0.9 < (m+1)t(n_3 - 1) / \lambda_3 m - (m-1) < 1.1$$

$$\lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3$$

【請求項2】 前記階段の段差 d 及び全段数分の高さ t が下記の式を満足することを特徴とする請求項1記載の色分離位相格子。

$$0.97 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.03$$

$$0.95 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.05$$

$$0.95 < (m+1)t(n_3 - 1) / \lambda_3 m - (m-1) < 1.05$$

【請求項3】 前記3つの波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 が下記の式を満足することを特徴とする請求項1又は2記載の色分離位相格子。

$$530\text{ nm} \leq \lambda_1 \leq 560\text{ nm}$$

$$450\text{ nm} \leq \lambda_2 \leq 480\text{ nm}$$

$$610\text{ nm} \leq \lambda_3 \leq 660\text{ nm}$$

【請求項4】 前記段数 m が、 $2 < m < 6$ を満足することを特徴とする請求項1、2又は3記載の色分離位相格子。

【請求項5】 前記階段状の断面形状の繰り返しピッチ T が、 $10\text{ }\mu\text{m} < T < 30\text{ }\mu\text{m}$ を満足することを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の色分離位相格子。

【請求項6】 前記段差 d が、 $0.9\text{ }\mu\text{m} < d < 1.2\text{ }\mu\text{m}$ を満足することを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の色分離位相格子。

【請求項7】 3原色を含む白色光源と、前記光源からの射出光束を各3原色の波長成分に分光する分光手段と、入射光束の透過率を画素毎に変調することにより画像を形成する透過型の画像表示手段と、前記画像表示手段が形成した画像をスクリーンに投影する投影手段とを備えている投写型の画像表示装置において、前記分光手段として請求項3、4、5又は6記載の色分離位相格子を用いたことを特徴とする投写型の画像表示装置。

【請求項8】 2つの波長 λ_1 及び λ_2 の光を透過する材料で作られた平板上に透過光束の光軸を中心とする複数の輪帯が形成された位相型の回折レンズであって、光軸を含む断面の形状が前記輪帯の部分で階段状であり、前記波長 λ_1 及び λ_2 に対する前記材料の屈折率を n_1 及び

n_2 とし、前記階段の段数を m としたとき、前記階段の段差 d 及び全段数分の高さ t が下記の式を満足することを特徴とする波長選択性レンズ。

$$0.9 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.1$$

$$\lambda_1 < \lambda_2 \text{ のとき, } 0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m-1) < 1.1$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 \text{ のとき, } 0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.1$$

【請求項9】 前記階段の段差 d 及び全段数分の高さ t が下記の式を満足することを特徴とする請求項8記載の波長選択性レンズ。

$$0.97 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.03$$

$$\lambda_1 < \lambda_2 \text{ のとき, } 0.95 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m-1) < 1.05$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 \text{ のとき, } 0.95 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m-1) < 1.05$$

【請求項10】 前記段数 m が、 $1 < m < 5$ を満足することを特徴とする請求項8又は9記載の波長選択性レンズ。

【請求項11】 レンズの有効径の内側領域が光軸を中心とする円の内側の内周部と外側の外周部とに分割され前記内周部又は外周部のいずれか一方にのみ前記複数の輪帯が設けられている請求項8、9又は10記載の波長選択性レンズ。

【請求項12】 曲面で構成された入射面又は射出面の少なくとも一方の面上に光軸を中心とする輪帯が形成された波長選択性レンズであって、前記輪帯は階段状の断面を有し、前記階段の面は前記輪帯を形成する前のレンズ面と略平行であり、レンズ内部を透過する波長 λ_1 の光線が前記光線とレンズ面との交点における前記レンズ面の法線となす角を θ 、レンズ材料の波長 λ_1 に対する屈折率を n_1 とし、 j を自然数とすると、前記階段の面と前記輪帯を形成する前のレンズ面との距離 d が下記の式を満足することを特徴とする波長選択性レンズ。

$$0.95 < d(n_1 - 1) / (j\lambda_1 \cos \theta) < 1.05$$

【請求項13】 前記距離 d が下記の式を満足することを特徴とする請求項12記載の波長選択性レンズ。

$$0.98 < d(n_1 - 1) / (j\lambda_1 \cos \theta) < 1.02$$

【請求項14】 レンズの有効径の内側領域が光軸を中心とする円の内側の内周部と外側の外周部とに分割され前記内周部には光回折用の輪帯がなく、前記外周部には光回折用の輪帯が形成されていることを特徴とする請求項12又は13記載の波長選択性レンズ。

【請求項15】 レンズの有効径の内側領域が光軸を中心とする円の内側の内周部と外側の外周部とに分割され前記外周部には光回折用の輪帯がなく、前記内周部には光回折用の輪帯が形成されていることを特徴とする請求項12又は13記載の波長選択性レンズ。

【請求項16】 レンズ有効径の開口数が略0.6であって、前記内周部の開口数が略0.45であることを特徴とする請求項14又は15記載の波長選択性レンズ。

【請求項17】 前記波長 λ_1 の光成分と分離される光成分の波長 λ_2 が下記の式を満足することを特徴とする請求項12、13、14、15又は16記載の波長選択性レンズ。

$$630 < \lambda_2 < 660$$

【請求項18】 異なる波長の光を射出する2つの光源と、光源の波長により実質的に開口数を調節する開口調節手段と、光源からの光束を情報記録媒体上に集光する集光手段と情報記録媒体からの反射光束又は透過光束を検出するための検出手段とを有する光情報記録再生装置において、前記開口調節手段として、請求項8、9、10又は11記載の波長選択性レンズを用いたことを特徴とする光情報記録再生装置。

【請求項19】 異なる波長の光を射出する2つの光源と、光源の波長により実質的に開口数を調節する開口調節手段と、光源からの光束を情報記録媒体上に集光する集光手段と情報記録媒体からの反射光束又は透過光束を検出するための検出手段とを有する光情報記録再生装置において、前記開口調節手段及び前記集光手段として、請求項12、14、16又は20記載の波長選択性レンズを用いたことを特徴とする光情報記録再生装置。

【請求項20】 第1の光源の波長 λ_1 及び第2の光源の波長 λ_2 が $630 < \lambda_1 < 660$ 、及び、 $780 < \lambda_2 < 810$ を満足することを特徴とする請求項18又は19記載の光情報記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光に周期的な位相遅れを与えることにより回折現象を生じさせる位相型の回折格子（位相格子）、特に、複数の波長からなる光を回折の効果により分光する色分離位相格子、及び、この色分離位相格子を用いた投写型の画像表示装置、レンズ、光情報記録再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】複数の波長を含む光束から特定の波長の光を取り出す分光手段として、多くの手段が知られている。そのうちの1つとして、階段状の位相格子を用いて色分離を実現する方法が米国特許第4277138号に開示されている。この米国特許では、位相格子を構成する各段の大きさを、基準波長の整数倍の位相遅れを発生するように設定している。その結果、基準波長の光は回折せず、他の波長の光は回折を生ずる。

【0003】また、投写型の画像表示装置において、投射画像を明るくするためにカラーフィルタを用いない「カラーフィルタレス方式」が提案されている。例えば特開平4-60538号公報にこの方式が開示されている。この方式では光軸に対する傾斜角が異なる3枚のダ

イクロミックミラーを用いて光源からの光束をR（赤）、G（緑）、B（青）の3原色に分光する。それぞれの光束は所定の角度差を有する光路を進んでカラーフィルタを備えていない液晶パネルに入射する。液晶パネルは3原色のそれぞれに対応した3画素を1組として各組に対応するマイクロレンズを備えており、入射角度の異なるR、G、Bそれぞれの光は対応する各画素に集光する。このようにして、光源の光を効率よく利用することができる。

【0004】また、位相型の回折レンズを用いて屈折レンズにない特徴を有する光学系が提案されている。特開平6-242373号公報にて開示された技術は、屈折レンズの色収差を回折レンズで打ち消すものであり、軸上色収差のない単レンズが実現できる。特開平7-98431号公報に開示された技術は、回折レンズを用いて光軸上に0次回折光のスポットと1次回折光のスポットを有する2焦点レンズを実現するものである。

【0005】また、光情報記録再生装置において、高密度記録のために対物レンズの開口数を大きくすると共に光源の波長を短波長化することが行われている。レンズの開口数を大きくした場合、情報記録媒体が傾いたときに発生するコマ収差の量も大きくなる。これを改善するために情報記録媒体の保護樹脂の厚み（基材厚）を薄くしている。しかし、薄型の高密度記録媒体用に設計された大口径レンズの光学系で厚い記録媒体を用いた場合、球面収差が発生するため情報記録面上に十分な集光が行われず、情報の読み出しが困難になる。

【0006】一方、1台の光情報記録再生装置で基材厚の異なる複数種の光ディスクを再生できるようにすることが望まれている。球面収差の発生量はレンズの開口の大きさの3乗に比例するため、開口を制限することによって球面収差の低減が可能である。この技術については、例えば特開平9-22539号公報、特開平8-321065号公報等が開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、米国特許第4277138号には実使用上の好適な設計範囲が開示されていない。本発明の第1の目的は、階段状の断面を有する位相格子を用いて色分離を実現する方法において、実使用上好適な設計値を提供することにある。

【0008】また、特開平4-60538号公報に開示されたカラーフィルタレス方式は、色分離方式としてダイクロミックミラーを用いているが、この場合、光源、液晶パネル、及び投射レンズを一直線上に配置することが原理的に不可能であるため、小型化等の障害になる。本発明の第2の目的は、位相格子を用いて色分離素子を実現することにより、非常に小さな光学系を用いた投射型の画像表示装置を提供することにある。

【0009】また、特開平6-242373号公報に開示された屈折レンズの色収差を回折レンズで打ち消す技

術は、光源の波長が変化しても焦点距離変化がないように補正する方法に用いることができる。しかし、この公報に開示された技術内容は波長変化として半導体レーザの波長変動を対象としており、せいぜい±20nm程度の領域であり、それ以上の波長域において性能を補償できるものではない。また、特開平7-98431号公報に開示された2焦点レンズを実現する技術は、レンズ開口を内周部と外周部とに分割し、その一部に2焦点作用を付加したものであるが、これも単一波長を目的とした設計であって、波長によって開口を変化させるものではない。

【0010】また、特開平9-22539号公報に開示された開口を制限することによって球面収差を低減する技術ではディスクの種類に応じて開口制限用のアパーチャを挿入したり退去する必要がある、そのための機構が必要である。特開平8-321065号公報に開示された技術では液晶シャッタを用いて可動部を無くしているが高コストである。また、いずれの方法でも、開口制限手段を対物レンズアクチュエータ上に構成して一体駆動しようとするればアクチュエータの負担が過大になる。一方、光学基台に固定して用いる方法は、対物レンズがトラッキング制御によりシフトした場合に開口の中心軸がレンズの光軸とずれることとなり、ディセンタによる収差が発生するので望ましくない。本発明の第3の目的は、色分離型位相格子を用いることによって、開口制限を目的とする機械的な可動部及び制御回路を不要とした光情報記録再生用装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による色分離位相格子は、3つの波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光を透過する材料の表面に、3段以上の階段状の断面形状が周期的に設けられた色分離位相格子であって、前記材料の波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 に対する屈折率を n_1 、 n_2 及び n_3 とし、前記階段の段数を m としたとき、前記階段の段差 d 及び全段数分の高さ t が下記の式を満足することを特徴とする。

【0012】

$$\text{【数1】 } 0.95 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.05$$

【0013】

$$\text{【数2】 } 0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.1$$

【0014】

$$\text{【数3】 } 0.9 < (m+1)t(n_3 - 1) / \lambda_3 m - (m-1) < 1.1$$

【0015】

$$\text{【数4】 } \lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3$$

また、 d 及び t が下記の式を満足することが好ましい。

【0016】

$$\text{【数5】 } 0.97 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.03$$

【0017】

$$\text{【数6】 } 0.95 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.05$$

【0018】

$$\text{【数7】 } 0.95 < (m+1)t(n_3 - 1) / \lambda_3 m - (m-1) < 1.05$$

また、3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 が下記の式を満足することが好ましい。

【0019】

$$\text{【数8】 } 530 \text{ nm} \leq \lambda_1 \leq 560 \text{ nm}$$

【0020】

$$\text{【数9】 } 450 \text{ nm} \leq \lambda_2 \leq 480 \text{ nm}$$

【0021】

$$\text{【数10】 } 610 \text{ nm} \leq \lambda_3 \leq 660 \text{ nm}$$

また、 m が下記の式を満足することが好ましい。

【0022】

【数11】 $2 < m < 6$ また、前記階段状の断面形状の繰り返しピッチ T が、下記の式を満足することが好ましい。

【0023】

$$\text{【数12】 } 10 \mu\text{m} < T < 30 \mu\text{m}$$

また、段差 d が下記の式を満足することが好ましい。

【0024】

$$\text{【数13】 } 0.9 \mu\text{m} < d < 1.2 \mu\text{m}$$

本発明による投写型の画像表示装置は、3原色を含む白色光源と、前記光源からの射出光束を各3原色の波長成分に分光する分光手段と、入射光束の透過率を画素毎に変調することにより画像を形成する透過型の画像表示手段と、前記画像表示手段が形成した画像をスクリーンに投影する投影手段とを備えているものにおいて、前記分光手段として上記のような構成の色分離位相格子を用いたことを特徴とする。

【0025】また、本発明による波長選択性レンズは、2つの波長 λ_1 及び λ_2 の光を透過する材料で作られた平板上に透過光束の光軸を中心とする複数の輪帯が形成された位相型の回折レンズであって、光軸を含む断面の形状が前記輪帯の部分で階段状であり、前記波長 λ_1 及び λ_2 に対する前記材料の屈折率を n_1 及び n_2 とし、前記階段の段数を m としたとき、前記階段の段差 d 及び全段数分の高さ t が下記の式を満足することを特徴とする。

【0026】

$$\text{【数14】 } 0.9 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.1$$

【0027】

$$\text{【数15】 } \lambda_1 < \lambda_2 \text{ のとき、 } 0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m-1) < 1.1$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 \text{ のとき、 } 0.9 < (m+1)t(n_2 - 1) / \lambda_2 m - (m+1) < 1.1$$

また、 d 及び t が下記の式を満足することが好ましい。

【0028】

$$\text{【数16】 } 0.97 < d(n_1 - 1) / \lambda_1 < 1.03$$

【0029】

【数17】 $\lambda_1 < \lambda_2$ のとき、 $0.95 < (m+1)t(n_2-1)/\lambda_2 m - (m-1) < 1.05$

$\lambda_1 > \lambda_2$ のとき、 $0.95 < (m+1)t(n_2-1)/\lambda_2 m - (m-1) < 1.05$

また、 m が下記の式を満足することが好ましい。

【0030】

【数18】 $1 < m < 5$

また、レンズの有効径の内側領域が光軸を中心とする円の内側の内周部と外側の外周部とに分割され前記内周部又は外周部のいずれか一方にのみ前記複数の輪帯が設けられていることが好ましい。

【0031】本発明の波長選択性レンズは、曲面（球面又は非球面）で構成された入射面又は射出面の少なくとも一方の面上に光軸を中心とする輪帯が形成されたものであって、前記輪帯は少なくとも2段以上の階段状の断面を有し、前記階段の面は前記輪帯を形成する前のレンズ面と略平行であり、レンズ内部を透過する波長 λ_1 の光線が前記光線とレンズ面との交点における前記レンズ面の法線となす角を θ 、レンズ材料の波長 λ_1 に対する屈折率を n_1 とし、 j を自然数とすると、前記階段の面と前記輪帯を形成する前のレンズ面との距離 d が下記の式を満足することを特徴とする。

【0032】

【数19】 $0.95 < d(n_1-1)/(j\lambda_1 \cos \theta) < 1.05$

また、 d が下記の式を満足することが好ましい。

【0033】

【数20】 $0.98 < d(n_1-1)/(j\lambda_1 \cos \theta) < 1.02$

また、レンズの有効径の内側領域が光軸を中心とする円の内側の内周部と外側の外周部とに分割され前記内周部には光回折用の輪帯がなく、前記外周部には光回折用の輪帯が形成されていることが好ましい。逆に、外周部には光回折用の輪帯を設けず、内周部に光回折用の輪帯を設けてもよい。

【0034】レンズ有効径の開口数が略0.6であって、前記内周部の開口数が略0.45であることも好ましい。また、前記波長 λ_1 の光成分と分離される光成分の波長 λ_2 が下記の式を満足することも好ましい。

【0035】

【数21】 $630 < \lambda_2 < 660$

本発明による光情報記録再生装置は、異なる波長の光を射出する2つの光源と、光源の波長により実質的に開口数を調節する開口調節手段と、光源からの光束を情報記録媒体上に集光する集光手段と情報記録媒体からの反射光束又は透過光束を検出するための検出手段とを有する光情報記録再生装置において、前記開口調節手段として、上記のような構成を有する波長選択性レンズを用いたことを特徴とする。

【0036】第1の光源の波長 λ_1 及び第2の光源の波

長 λ_2 は、下記の式を満足することが好ましい。

【0037】

【数22】 $630 < \lambda_1 < 660$

【0038】

【数23】 $780 < \lambda_2 < 810$

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施形態について、図面と具体的な実施例を用いて説明する。

【0040】（第1の実施形態）本発明の第1の実施形態に係る色分離位相格子の斜視図を図1に示す。また、この色分離位相格子の表面に形成された階段状の断面形状を図2に示す。図2において、21は入射面であり、入射光束は21に垂直に入射するものとする。第1の波長を λ_1 とし、 λ_1 に対する材料の屈折率を n_1 とすると、 d が下記の式（数24）を満足すれば、波長 λ_1 の光は、段差 d による位相遅れがちょうど1波長となるため、0次回折光の回折効率が100%となり、位相格子による回折作用を受けない。

【0041】

【数24】 $d = \lambda_1 / (n_1 - 1)$

前記の式（数4）を満足する第2及び第3の波長を λ_2 及び λ_3 とし、各波長に対する材料の屈折率を n_2 及び n_3 とし、段差 d の段が m 段ある階段状の断面形状を考える。図3は $m=4$ の場合を例示したものである。この位相格子の入射面側から λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の光が入射し、位相格子を透過したとき、各波長の位相遅れは図4のようになる。図4において、実線、破線及び点線がそれぞれ λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光に相当する。

【0042】回折効率は位相遅れが 2π の整数倍からどの程度ずれるかにより決まるので、図4の位相遅れから素子の厚みが d 増える毎に 2π を引くと図5のようになる。回折効率はこのようにして得られた図5の位相遅れを基に考えればよい。この場合、 λ_1 に対しては平板と同様の作用をし、 λ_2 、 λ_3 に対してはそれぞれ右回り又は左回りの鋸歯状の位相格子として作用する。

【0043】結局、素子に垂直に入射した光のうち、波長 λ_1 の成分は回折せず直進し、 λ_2 及び λ_3 の成分はそれぞれ右側及び左側に回折する。つまり、この位相格子では、各波長成分は異なった回折次数に回折することになる。そのため、通常回折格子による分光に比べて波長毎の分離角を大きくすることができる。なお、本明細書において、回折の次数のうち、位相格子の形状を略鋸歯状として見たときに、鋸歯の厚くなる方向に回折する成分を正の回折次数とし、鋸歯の薄くなる方向に回折する成分を負の回折次数として表すことにする。図3に示した断面形状において、波長 λ_2 の成分を1次回折光とし、 λ_3 の成分を-1次回折光として説明する。

【0044】ここで、前記の式（数1～3）は波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の成分がそれぞれ0次、1次、-1次回折の方向に良好に回折するように位相格子を設計する

ための条件である。それぞれ上限を越えても下限を越えても回折効率が低下し好ましくない。また、更に好ましくは、式(数5～7)を満足する設計を行えば各波長に対応する次数の回折効率を向上させることができる。

【0045】また、画像表示装置等への応用を考えた場合は、基準波長として、式(数8～10)を満足するように λ_1 、 λ_2 及び λ_3 を選択するのが好ましい。また、前記の式(数11)は m について好適な範囲を限定する条件であり、下限を越えると λ_2 及び λ_3 成分の回折効率が満足に確保できない。また、上限を越えると、1つの段当たりの幅(図2の k の長さ)が短くなるため加工が困難となる。更に、全段分の深さ t がピッチ T に対して深くなることによって、回折効率がスカラー理論値からはずれて低下してしまうため望ましくない。また、前記の式(数12)は好適な繰返しピッチ T の範囲を示している。 T がこの範囲の上限を越えた場合は分離角が小さくなり過ぎるため本発明の特徴を活かすことができず、また下限を越えた場合は加工が困難となる。

【0046】以下に本実施形態の具体的な実施例について説明する。

【0047】

【実施例1】本実施例の色分離位相格子の断面形状を具体的な寸法と共に図6に示す。また本実施例の設計に用いた波長及び屈折率を表1に示す。

【0048】

【表1】

波長 (nm)		屈 折 率	
λ_1	540	n_1	1.488163
λ_2	465	n_2	1.491733
λ_3	630	n_3	1.485411

【0049】この位相格子の各基準波長における回折効率は表2のようになった。

【0050】

【表2】

波長 (nm)		回折効率 (%)		
		1次	0次	-1次
λ_1	540	0.5	98.1	0.7
λ_2	465	90.6	0.9	0.3
λ_3	630	0.3	0.9	90.5

【0051】このとき、波長540nm、465nm、630nmの光はそれぞれ、0次、1次、-1次回折光として回折する。

【0052】

【実施例2】本実施例の色分離位相格子の断面形状図を具体的な寸法と共に図7に示す。また本実施例の設計に用いた波長及び屈折率を表3に示す。

【0053】

【表3】

波長 (nm)		屈 折 率	
λ_1	540	n_1	1.518568
λ_2	470	n_2	1.523132
λ_3	650	n_3	1.514053

【0054】この位相格子の各基準波長における回折効率は表4のようになった。

【0055】

【表4】

波長 (nm)		回折効率 (%)		
		1次	0次	-1次
λ_1	540	0.3	99.2	0.2
λ_2	465	88.7	0.8	0.3
λ_3	630	0.7	3.0	85.1

【0056】このとき、波長540nm、465nm、

630nmの光はそれぞれ、0次、1次、-1次回折光

として回折する。本実施例の位相格子は実施例1の場合に比べて1周期当たりの段数が少なく設計されているので段の幅を長くすることができ、製造上も好ましい。

【0057】(第2の実施形態)本発明の第2の実施形態に係る投写型画像表示装置の光学系を図8に示す。図8において、ランプ81はR、G、Bの3原色を含む光束を射出する光源であり、ランプ81によって射出された3原色を含む光束は、コリメートレンズ82で略平行光束とされた後、色分離位相格子83に入射する。色分離位相格子83により3原色に分割され、各色の光束はマイクロレンズアレー84を経て液晶パネル85に結像する。液晶パネル85によって変調された画像情報は投射レンズ86によってスクリーン87に投影される。

【0058】マイクロレンズアレー84を構成する各マイクロレンズは液晶パネルの3画素に対して1つ対応するように配置されている。図9はマイクロレンズにより回折光が液晶の画素に集光する様子を示す模式図である。色分離位相格子により分光された3原色に対応する回折光成分91、92、93はそれぞれ一定の分離角度をもってマイクロレンズ94に入射する。マイクロレンズ94に入射した各光束はそれぞれの波長に対応する液

晶パネルの各画素95、96、97に結像する。マイクロレンズ94に垂直に入射してきたG成分の光束91は中央の画素95に集光し、斜めに入射してきたR成分及びB成分の光束92、93はそれぞれ上の画素96又は下の画素97に結像する。このようにして、カラーフィルタを用いないで液晶パネル上の画素を3原色で照明することができる。

【0059】以下に本実施形態の具体的な実施例について説明する。

【0060】

【実施例3】本実施例では色分離位相格子として実施例1に説明した位相格子を用いた。実施例1の位相格子の可視光全域における回折効率の計算結果を図10に示す。また、光源のスペクトル分布を図11に示す。このとき、光源からの光を位相格子で分光したときのスペクトル分布は図12のようになった。また、各回折光及びこれを合成して得られる白色光の色度座標は(表5)のようになり、満足な投写型画像表示装置が得られた。

【0061】

【表5】

	x	y
0次回折光	0.267	0.657
1次回折光	0.142	0.094
-1次回折光	0.570	0.377
白色	0.279	0.406

【0062】

【実施例4】本実施例では色分離位相格子として実施例2に説明した位相格子を用いた。実施例2の位相格子の可視光全域における回折効率の計算結果を図13に示す。また、光源は実施例3と同じ光源を用いた。このとき、光源からの光を位相格子で分光したときのスペクト

ル分布は図14のようになった。各回折光及びこれを合成して得られる白色光の色度座標は(表6)のようになり、満足な投写型画像表示装置が得られた。

【0063】

【表6】

	x	y
0次回折光	0.290	0.642
1次回折光	0.142	0.087
-1次回折光	0.599	0.315
白色	0.276	0.395

【0064】(第3の実施形態)本発明の第3の実施形態に係る波長選択性のレンズの概略斜視図を図15に示す。また、その断面輪郭を図16に示す。このレンズは、基準波長 λ_1 に対しては0次回折光の回折効率が高く、 λ_2 に対しては1次回折光の回折効率が高くなるように段差が設定されている。具体的には、段差の大きさをdとし、第1の波長を λ_1 、レンズ材料の波長 λ_1 における屈折率を n_1 とすると、前記の式(数24)を満足するとき波長 λ_1 の光は回折しないで透過する。 λ_1 及

び λ_2 の両方の波長成分に対して好適な回折効率を得るための条件は式(数14及び15)であり、これらの式の上限を越えても下限を越えても回折効率の低下を招く。更に望ましくは式(数16及び17)を満足することが望ましい。

【0065】なお、輪帯の半径は波長 λ_2 の光に対する好適な焦点距離を選んで設計すればよい。また、波長 λ_2 として、式(数21)を満足する波長を選択すればHe-Neレーザを用いることができ、赤外用光学系など

の場合に可視光での組立調整が可能になるので好ましい。

【0066】以下に本実施形態の具体的な実施例について説明する。

【0067】

【実施例5】本実施例のレンズは図15に示した形状のものを使用し、図16中の d 、 t 、そして段数 m は下記のように設定した。

【0068】 $d=1.552 \mu\text{m}$

$t=4.655 \mu\text{m}$

$m=3$

また、 λ_1 、 λ_2 、 n_1 、 n_2 は表7に示すように設定し

た。

【0069】

【表7】

波長 (nm)		屈折率	
λ_1	800	n_1	1.510316
λ_2	632.8	n_2	1.514621

【0070】このとき、位相格子によるレンズの回折効率率は表8のようになった。

【0071】

【表8】

波長 (nm)		回折効率 (%)	
		0次	1次
λ_1	800	99.5	0.2
λ_2	632.8	0.2	80.5

【0072】本実施例のレンズは入射光の波長が800 nmの場合にはレンズ作用を発揮しないで光をそのまま透過し、632.8 nmの場合には輪帯のピッチによって定まる焦点距離のレンズとして作用する。

【0073】(第4の実施形態) つぎに、本発明の第4の実施形態に係る波長選択性のレンズについて説明する。波長選択性のレンズを球面及び非球面からなる曲面上に形成する場合には、光線が屈折により材料中を光軸と非平行に透過することを考慮して段差を設定する必要がある、前記の式(数19)を満足することが望ましい。この式で規定される範囲の上限を越えても下限を越えても、基準波長 λ_1 の光に対する0次回折効率が低下してしまうため、回折による光量ロスが発生し望ましくない。

【0074】また、 λ_2 として前記の式(数21)の範囲を選択することにより、He-Neレーザ光(632.8 nm)及び赤色半導体レーザ(650 nm)に対して特定の作用をさせることが可能となる。He-Neレーザ光源は計測機、干渉計などに広く用いられており、また赤色半導体レーザはDVDプレーヤに用いられている。したがって、上記の波長域でレンズに特定の作用をするように位相レンズを設計することが好ましい。

【0075】以下に本実施形態の具体的な実施例について説明する。

【0076】

【実施例6】図17に断面の輪郭を示すレンズは、赤外域($\lambda_1=800 \text{ nm}$)にて使用するレンズである。 $\lambda_2=632.8 \text{ nm}$ として、レンズ面上に波長選択性の位

相格子を形成する。このレンズを装置に組み込んで調整を行う際、可視光のHe-Neレーザを用いることができるので、作業性が改善される。また、この用途の場合は波長 λ_2 に対する回折効率は必ずしも高く設定する必要がなく、2段程度の段差の位相格子を用いてもよい。

【0077】(第5の実施形態) 波長選択性の位相格子をレンズ開口の一部に設けることにより、波長に応じて焦点距離と共に開口数をも変化させることができる。これにより、多機能の波長選択性レンズを構成することができる。以下に本実施形態の具体的な実施例を説明する。

【0078】

【実施例7】図18に本実施例の波長選択性レンズの概略形状を斜視図で示す。このレンズの断面輪郭を図19に示す。レンズの有効径193が内周部191と外周部192との2つの領域に分割されている。内周部191には輪帯が形成されておらず、入射した光はそのまま透過する。外周部192には周期的な階段状断面からなる輪帯が形成されている。図19における階段状部分の設計パラメータ d 、 t 及び段数 m は下記のように設定した。

【0079】 $d=1.265 \mu\text{m}$

$t=5.058 \mu\text{m}$

$m=4$

また、 λ_1 、 λ_2 、 n_1 、 n_2 は表9に示すように設定した。

【0080】

【表9】

波長 (nm)		屈 折 率	
λ_1	650	n_1	1.514053
λ_2	800	n_2	1.510316

【0081】このとき波長650nm及び800nmにおける回折効率は下記ようになった。

【0082】

【表10】

波長 (nm)		回 折 効 率 (%)	
		0次	-1次
λ_1	650	100	0
λ_2	800	1.3	87.2

【0083】このレンズに波長650nmの平行光が入射した場合、回折の影響を受けないため、そのまま直進する。一方、波長800nmの平行光が入射した場合、レンズ内周部191に入射した光束はそのまま透過し、外周部192に入射した光束は回折作用を受けて発散する。つまり本実施例のレンズは、波長により開口を制限する開口制限フィルタとして作用する。

【0084】

【実施例8】図20に断面の輪郭を示すレンズは、波長選択機能のための輪帯を前記の(数19)にしたがってレンズ面上に形成したものである。波長は $\lambda_1=650$ nm、 $\lambda_2=780$ nmとした。このレンズは、波長650nmの光に対して波長選択性レンズとして作用せず、波長800nmの光に対しては回折作用による波長選択性レンズの作用を発揮した。図20のような断面形状のレンズは、800nmの光に対しては凹レンズの作用をする。波長選択機能のための輪帯を形成する前のレンズは、波長650nmに対して良好に収差が補正されたレンズである。また、レンズ全体の有効径203は開口数が0.6であるように設定し、波長選択性輪帯を形成した部分の開口201は800nmの光に対する開口数が0.45になるように設定した。

【0085】このレンズに800nmの光が入射した場合、内周部201は波長選択性レンズと屈折レンズとの複合レンズとして作用する。その結果、内周部201と外周部202とで焦点距離が異なる。また、内周部201の階段状断面の繰り返しピッチは前述の収差を補正するようなレンズとして設計した。一般に単レンズを設計波長と異なる波長で使用した場合には球面収差が発生し、その量は口径の3乗に比例する。このとき、レンズ外周部に入射した光と内周部の0次回折光による光は、内周部の-1次回折光の焦点位置上においては、焦点隔差によるデフォーカスと球面収差が補正されていないことに起因して良好に集光できずに拡がる。このため、内周部が作るスポット形状には大きな影響を与えない。

【0086】以上説明したように、良好に収差補正され

たレンズに本発明の波長選択機能を兼ね備えさせることにより、元のレンズの設計波長と異なる第2の波長でレンズを使用した場合に発生する球面収差の補正と、開口絞りの両方の働きをさせることができる。

【0087】(第6の実施形態)CD(コンパクトディスク)とDVD(デジタルビデオディスク)はいずれも光ピックアップを用いてディスクから情報を読み出す。ディスクの厚み、光源の波長、及びレンズの開口数が両者では異なっている。つまり、CDはディスク厚が1.2mm、光源の波長が780nm、開口数が0.45であるのに対し、DVDはディスク厚が0.6mm、光源の波長が650nm、開口数が0.6である。

【0088】DVD用として最適に設計された光学系を用いてCDを再生した場合、上記の光学パラメータの違いによって球面収差が発生し、光束をディスク上に良好にフォーカスすることが困難である。したがって、十分な再生信号が得られない。本発明による前述の波長選択性レンズを用いれば、DVD用に設計されたレンズであっても開口を制限することにより、球面収差の発生を緩和してCDの良好な再生を行うことが可能である。

【0089】例えば、レンズ全体の開口数を0.6とし、光軸を中心とする円の内側の内周部の開口数を0.45とすることが望ましい。また、設計波長 λ_1 、 λ_2 として、前記の(数22)及び(数23)を満足する波長を選択することが望ましい。以下に、本発明の具体的な実施例を説明する。

【0090】

【実施例9】図21は本発明による光情報記録再生装置に用いられる光ピックアップの光学系を示している。DVDの再生には650nmで発振する第1の半導体レーザ701を用いる。光源701からの発散光束はビームスプリッタ703を透過し、コリメートレンズ704により略平行光束とされ、ビームスプリッタ705を透過して波長選択性レンズ706に入射する。波長選択性レンズ706は波長650nmに対して0次回折光の回折効率が100%となる設計であるため、入射光束は回折

の影響を受けずに透過し、対物レンズ707により、ディスク708に焦点を結ぶ。ディスク708からの反射光は再び対物レンズ707を通過して平行光束となり、波長選択性レンズ706を透過し、ビームスプリッタ705によって反射され、検出光学系709を通過して受光素子710に入射する。

【0091】CDの再生の際には780nmで発振する第2の半導体レーザ702を用いる。半導体レーザ702からの発散光束はビームスプリッタ703によって反射され、コリメートレンズ704に入射し、略平行光束とされ、ビームスプリッタ705を透過し、波長選択性レンズ706に入射する。波長選択性レンズ706の外周部711に入射した光束は回折作用を受け、対物レンズ707の有効径の外側へ発散する。したがって、波長選択性レンズ706の内周部712に入射した光束のみが対物レンズ707に入射することになる。

【0092】つまり、本波長選択性レンズ706の作用により、CDの再生時には対物レンズ707への入射光束の開口制限を行うことができる。対物レンズ707で集光された光束はCD用ディスク714上に焦点を結ぶ。ディスク714からの反射光は対物レンズ707により略平行光束とされた後、波長選択性レンズ706に入射する。このとき、入射光束は波長選択性レンズ706の内周部712のみに入射するので、ここでは損失なく透過する。続いて、ビームスプリッタ705によって反射した後、検出光学系709を通過して受光素子710上に焦点を結ぶ。

【0093】本実施例の光情報記録再生装置に用いられる光ピックアップは、DVD専用に設計された対物レンズをそのまま用いてCD再生も可能な光学系を構成することができる。したがって、DVD専用プレーヤの光ピックアップとDVD/CD互換プレーヤ用の光ピックアップとで対物レンズを共用することができるため製造管理面、コスト面で有利である。また、可動部品なしで開口制限ができるので、光ピックアップの小型化、組立工程の簡素化を実現することもできる。

【0094】

【実施例10】本発明による光情報記録再生装置に用いられる光ピックアップの光学系の別実施例を図22に示す。対物レンズ806には実施例8で説明したような波長選択性機能を兼ね備えさせた集光レンズを用いた。波長選択機能を付加する前のレンズとして、第1の波長において、 $NA=0.6$ でDVD用のディスク厚みに対して良好に収差補正されているものを用いた。レンズ面に形成した波長選択機能のための輪帯は波長の違いによって生ずる球面収差だけでなく、ディスク厚みの違いによって発生する球面収差をも補正するように考慮し、波長選択性輪帯を形成する範囲はCD用の第2の波長に対して $NA=0.45$ となる開口とした。DVDの再生には波長650nmの光を射出する第1の半導体レーザ80

1を用いる。第1の半導体レーザからの発散光はビームスプリッタ803を透過し、コリメートレンズ804により略平行光束となってビームスプリッタ805を透過し、対物レンズ806に入射する。対物レンズ806には波長選択性領域807が形成されているが、波長650nmに対しては0次回折光が100%となる構成であるため、その影響を受けずに集光されディスク808上に焦点を結ぶ。ディスク808からの反射光は対物レンズ806によって平行光束となり、ビームスプリッタ805によって反射され、検出光学系809により受光素子810に集光される。

【0095】CDの再生の場合には780nmの光を射出する第2の半導体レーザ802を用いる。第2の半導体レーザ802から射出する発散光束はビームスプリッタ803で反射されたのちコリメートレンズ804に入射し略平行光束となってビームスプリッタ805を透過し、対物レンズ806に入射する。対物レンズ806の内周部には波長選択性領域807が形成されているので、内周部に入射した光束は波長選択性レンズ807で回折して $NA=0.45$ の収束光束812として射出される。

【0096】波長選択性レンズは、屈折レンズによって発生する収差及び、CDのディスク厚みによって発生する収差が打ち消されるため、CD用のディスク811上に良好に焦点を結ぶ。一方、外周部及び波長選択性レンズの他の回折光は-1次回折光と異なる焦点距離であるためディスク811の情報記録面と異なる位置に焦点を結ぶ。また、収差補正が行われていないためディスク上では広がったスポットとなる。したがって、-1次回折光のスポットプロファイルを乱さない。

【0097】ディスク811により反射された光は再度対物レンズ806を透過し、今度はビームスプリッタ805により反射されて検出光学系809へ入射し、受光素子810に焦点を結ぶ。

【0098】本実施例の光学系では、CD再生時にディスク厚及び波長の違いによって発生する球面収差を波長選択性レンズによって補正し、NAの違いも波長選択性レンズに開口絞りの働きをさせることにより解決している。

【0099】DVDの光学系を開口制限によりCD再生に用いた場合、対物レンズの移動によって、開口の光軸と対物レンズの光軸がずれることにより収差が発生する問題点を有するが、本実施例の光ピックアップでは、対物レンズ上で開口制限できるため、その問題は発生しない。また、単純に開口制限する場合に比べて、波長選択性レンズによって収差補正が可能であり、ピックアップの性能を向上することができる。

【0100】なお、以上の説明において回折効率の計算にはスカラー理論を用いた。位相格子の場合、スカラー理論を用いた計算結果は厳密にはベクトルの解析した

結果と異なる場合がある。ベクトル的な解析結果の場合は、全体的に効率が低下し、その分、高次回折光が発生する結果となる。しかしながら、波長によって回折効率の高い回折次数が異なるという本発明の概念には影響を与えない。また、全体的な回折効率の低下に関しては、システム設計上、十分回避できる程度の問題であり、本発明の実施例に示した内容を損なうものではない。

【0101】

【発明の効果】以上に説明したように、式(数1~4)を用いて設計された本発明の色分離位相格子によれば、3原色を高効率で分離することができる。

【0102】また、投写型の画像表示装置において、色分離手段として本発明の色分離位相格子を用いることによって、光源、液晶パネル及び投射レンズを1直線上に配置でき、小型化をする際に有利となる。

【0103】また、本発明の波長選択性レンズは機械的な可動部分や制御回路なしで開口制限を効率的に行うことができる。また、本発明の波長選択性レンズを用いることによって、波長に応じて最適な開口数で結像するレンズを得ることができる。

【0104】また、別の波長選択性レンズは波長変化によって生じる球面収差を補正することができるため、使用波長が大きく変化しても良好な性能を確保できる。また、本発明の波長選択性レンズを用いた開口絞りを光ピックアップに用いて光源の波長を切り替えることにより、それぞれの波長で最適な光束径の光を対物レンズに入射させることが可能となる。これにより、基材厚の厚い光ディスクと薄い光ディスクとの両方を1つのヘッドで記録再生できる。また、開口を切り替えるための機械的な可動部や制御回路が不要であるため、安価で小形に構成することができる。

【0105】更に、レンズ本体に絞りがついているため、レンズがトラッキング制御によりシフトした場合でもレンズの光軸と開口の中心とのずれが発生せず、収差の面でも有利である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る色分離位相格子の概略斜視図

【図2】図1の色分離位相格子の階段状の断面を示す図

【図3】図1の色分離位相格子の階段状断面の模式図

【図4】図3に対応して、位相格子を透過した光束の位相遅れを示す図

【図5】図4から位相遅れ成分を抽出した図

【図6】実施例1の色分離位相格子の断面形状を具体的な寸法と共に示す図

【図7】実施例1の色分離位相格子の断面形状を具体的な寸法と共に示す図

【図8】本発明の第2の実施形態に係る投写型画像表示装置の光学系を示す図

【図9】図8の光学系において、回折光がマイクロレ

ズにより液晶の画素に集光する様子を示す図

【図10】実施例3に用いた位相格子の可視光全域における回折効率の計算結果を示す図

【図11】光源のスペクトル分布を示す図

【図12】各回折光のスペクトル分布を示す図

【図13】実施例4に用いた位相格子の可視光全域における回折効率の計算結果を示す図

【図14】各回折光のスペクトル分布を示す図

【図15】本発明の第3の実施形態に係る波長選択性レンズの斜視図

【図16】図15の波長選択性レンズの断面輪郭を示す図

【図17】本発明の第4の実施形態における実施例6の波長選択性レンズの断面輪郭を示す図

【図18】本発明の第5の実施形態における実施例7の波長選択性レンズの斜視図

【図19】図18の波長選択性レンズの断面輪郭を示す図

【図20】実施例8の波長選択性レンズの断面輪郭を示す図

【図21】本発明の第6の実施形態における実施例9の光情報記録再生装置の光学系を示す図

【図22】実施例10の光情報記録再生装置の光学系を示す図

【符号の説明】

21 色分離位相格子の入射面

81 ランプ

82 コリメートレンズ

83 色分離位相格子

84 マイクロレンズアレイ

85 液晶パネル

86 投写レンズ

87 スクリーン

91 入射光束(緑)

92 入射光束(赤)

93 入射光束(青)

94 マイクロレンズ

95、96、97 液晶の画素

191、201 波長選択性レンズの内周部

192、202 波長選択性レンズの外周部

193、203 波長選択性レンズの有効径

701、801 第1の光源

702、802 第2の光源

703、803 ビームスプリッタ

704、804 コリメートレンズ

705、805 ビームスプリッタ

706 波長選択性レンズ

707、806 対物レンズ

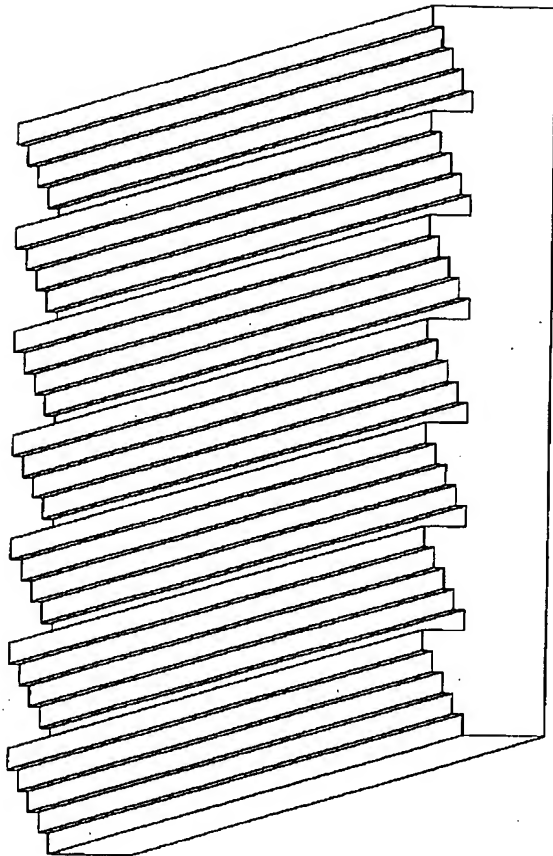
708、808 DVD用ディスク

709、809 検出光学系用レンズ

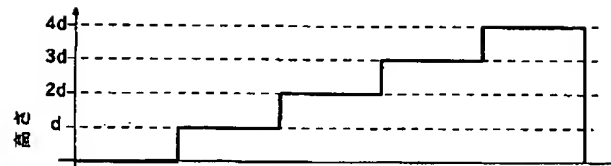
710、810 受光素子
 711 波長選択性レンズの外周部
 712 波長選択性レンズの内周部
 713 絞られた光束

714、811 CD用ディスク
 807 波長選択領域
 812 NA=0.45の収束光束

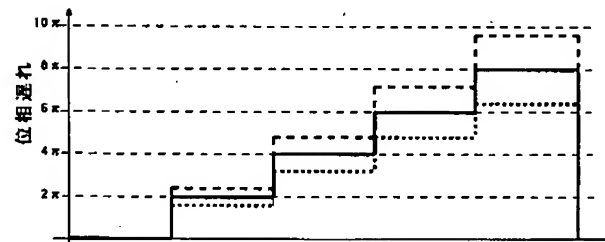
【図1】



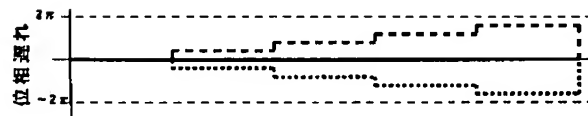
【図3】



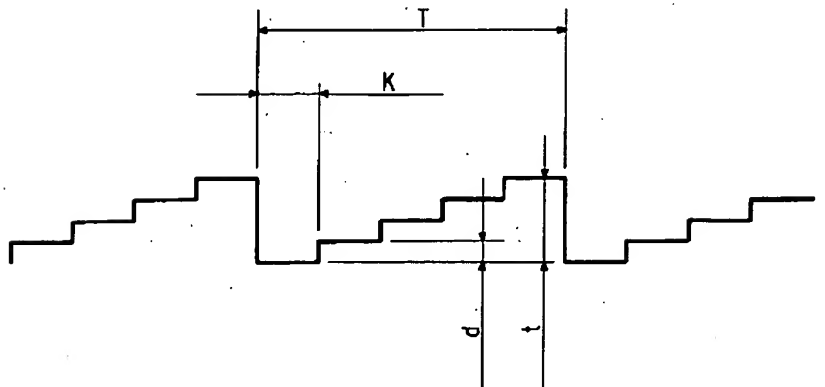
【図4】



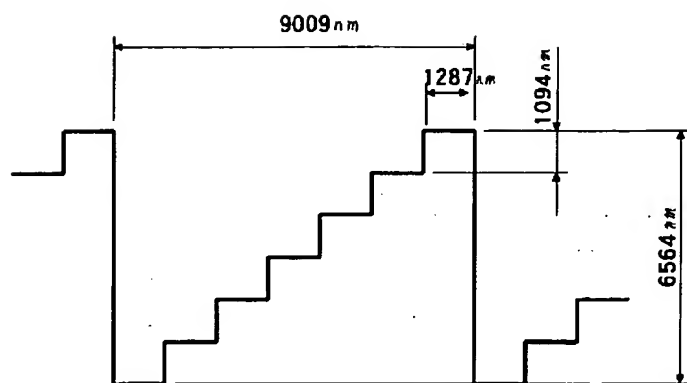
【図5】



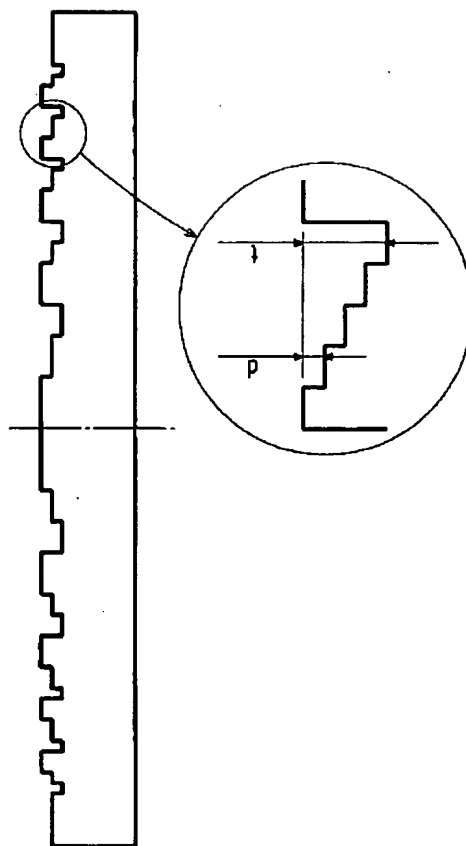
【図2】



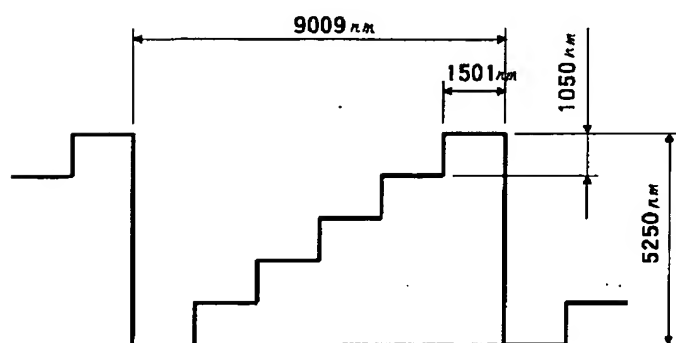
【図6】



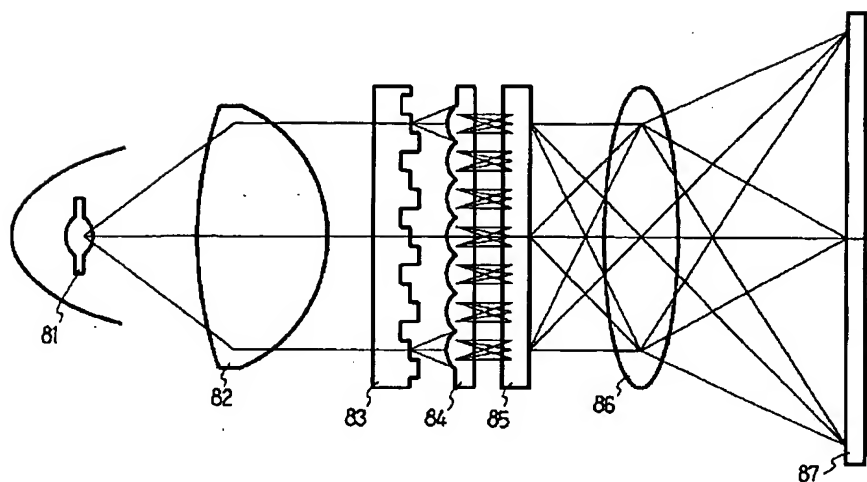
【図16】



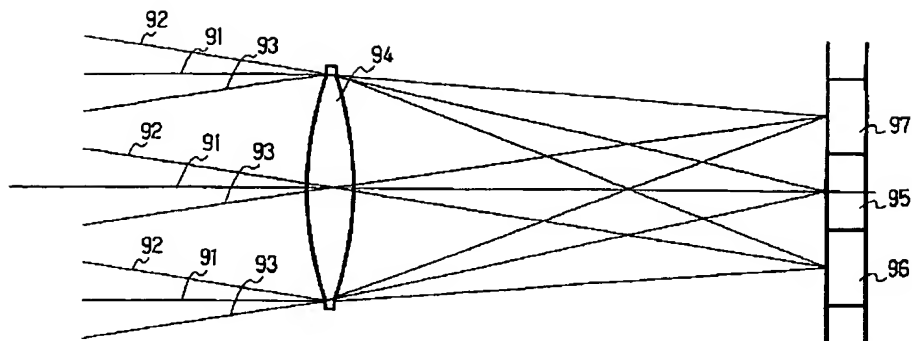
【図7】



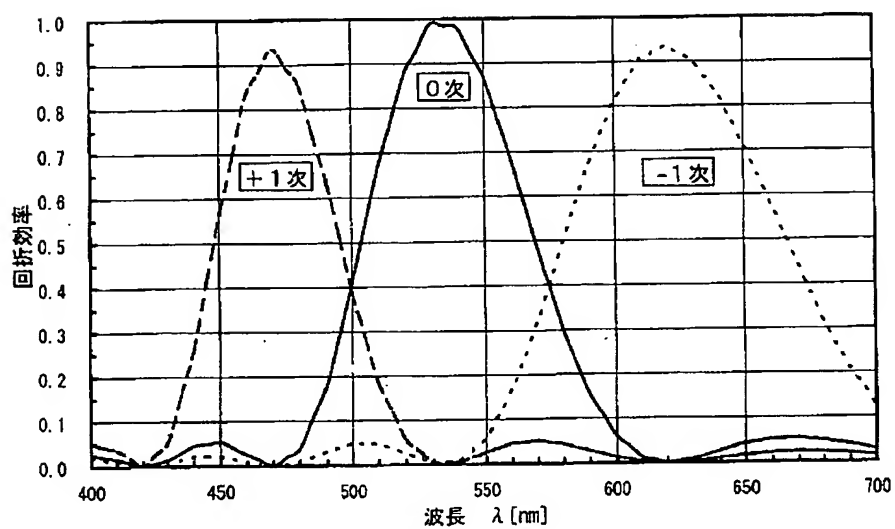
【図8】



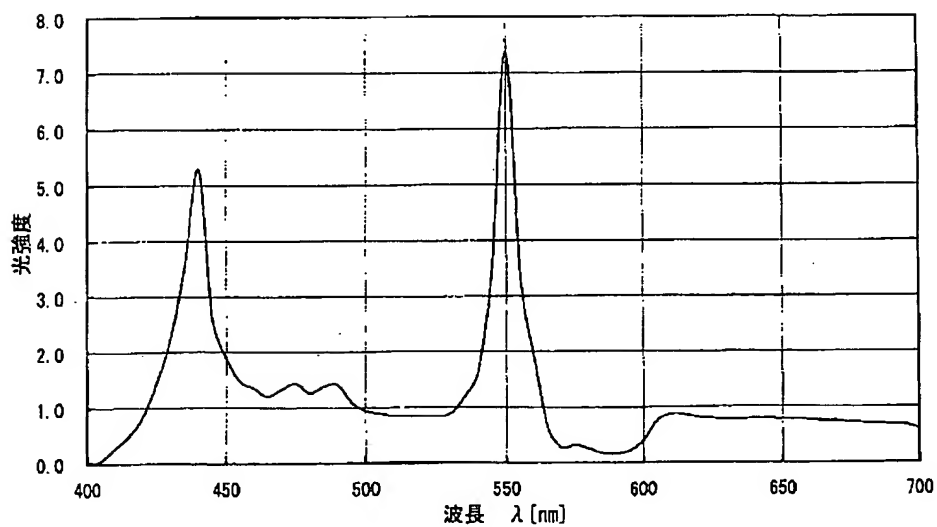
【図9】



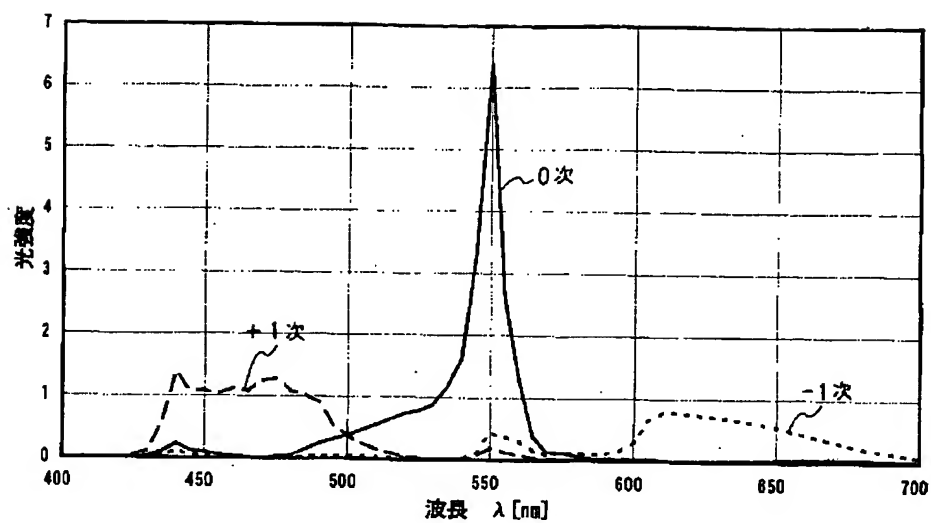
【図10】



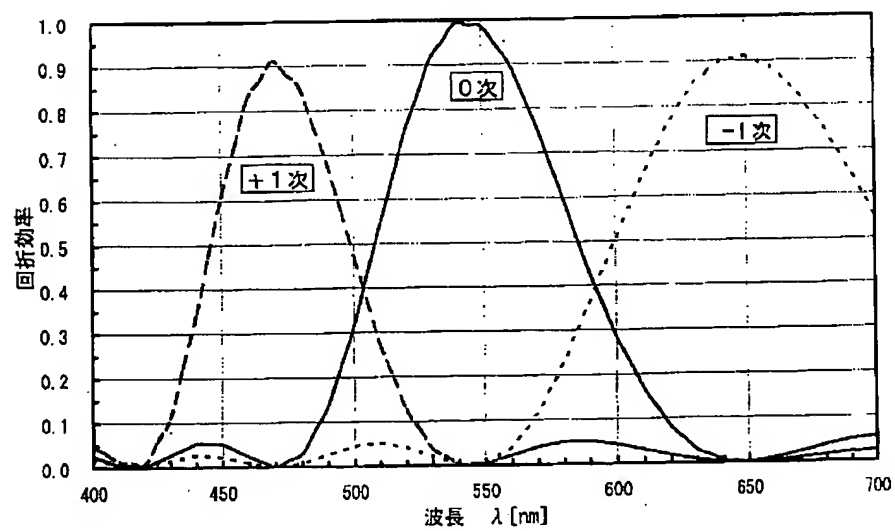
【図11】



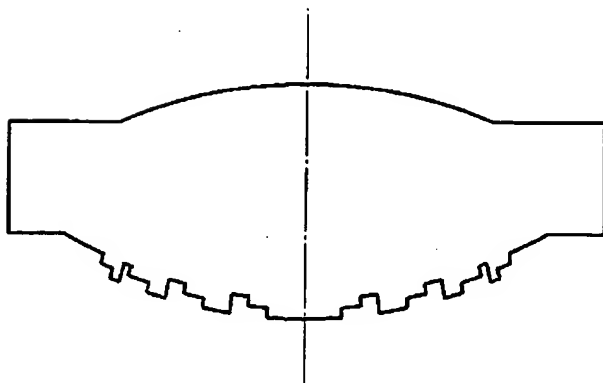
【図12】



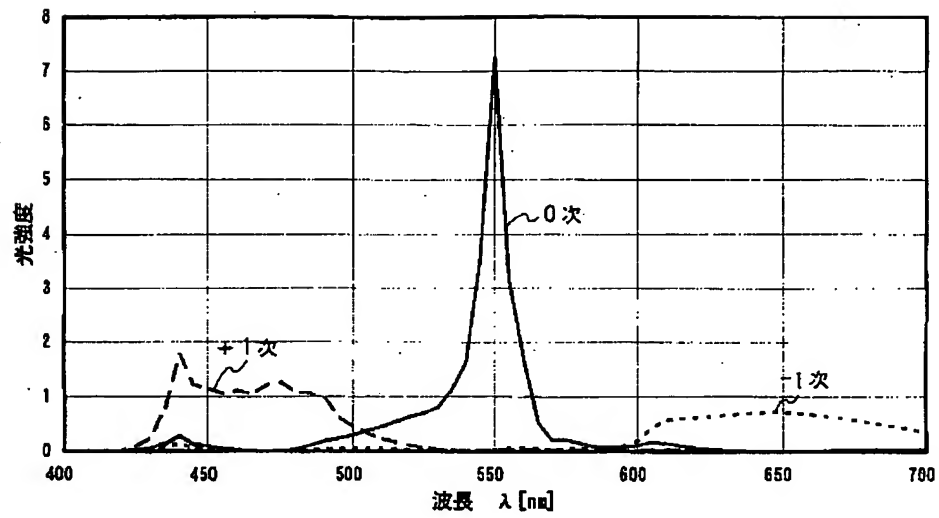
【図13】



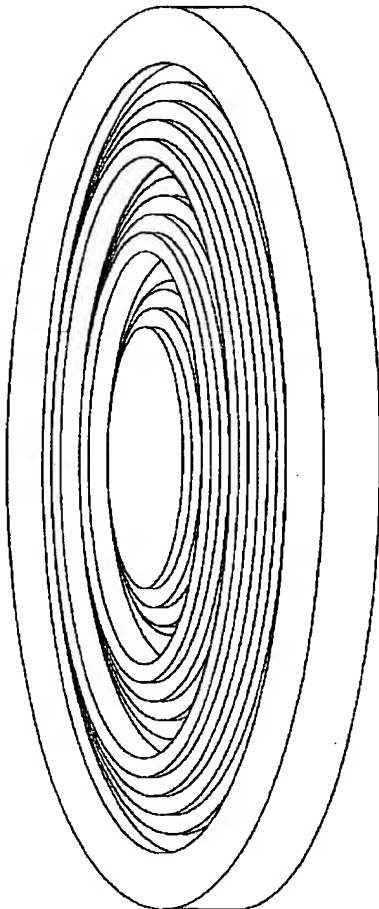
【図17】



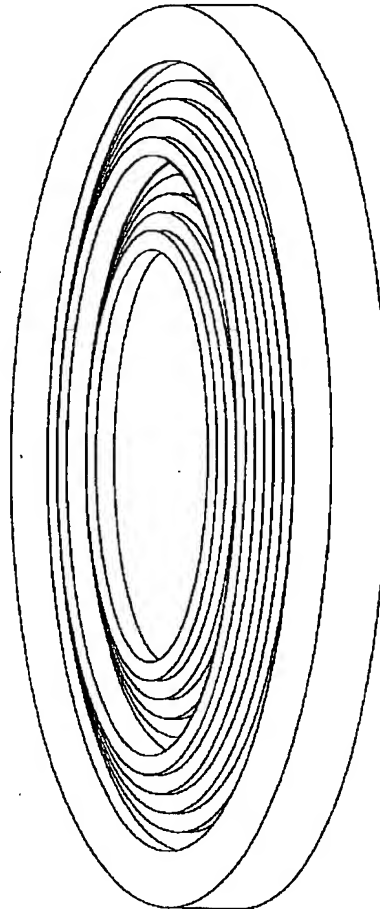
【図14】



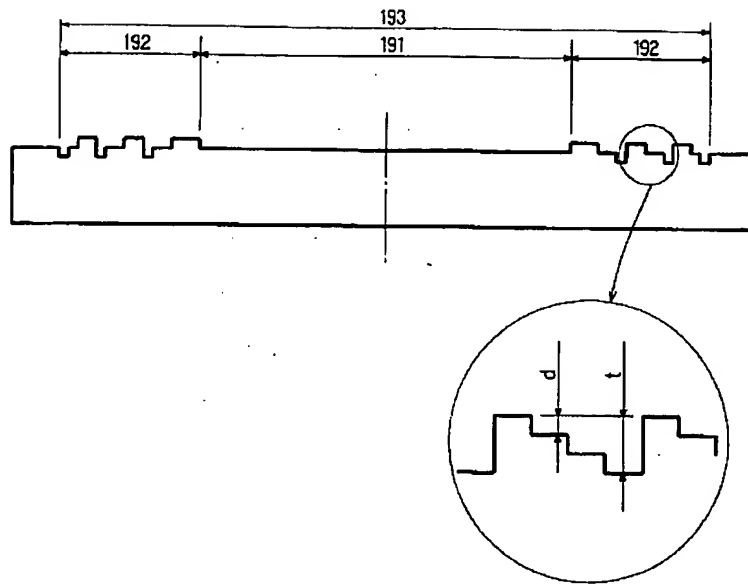
【図15】



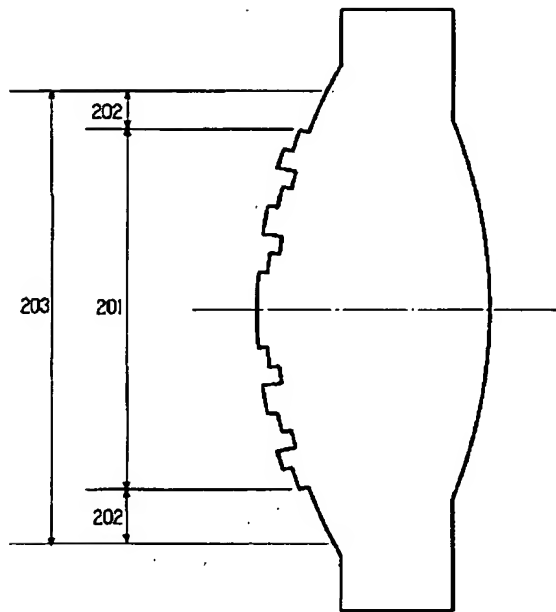
【図18】



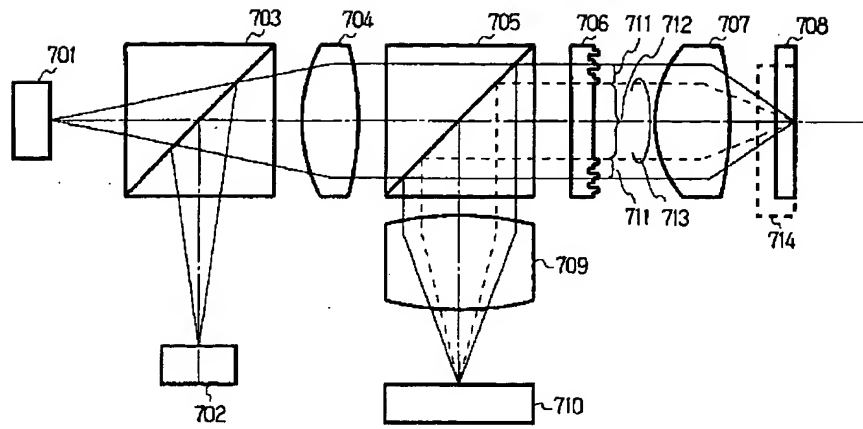
【図19】



【図20】



【図21】



【図22】

